

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE ELECTROSTATIC PRECIPITATOR

Karel Kvasnicka

Bachelor Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xkvasn09@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Michal Ptacek

E-mail: ptacekm@feec.vutbr.cz

Abstract: The paper brings basic information about electrostatic precipitator and it also presents main mathematical equations used for its design and development for laboratory condition. Furthermore, there is the description of experiments that can be done by laboratory precipitator in this paper.

Keywords: Precipitator; design, development, laboratory conditions

1 ÚVOD

Produktem spalování uhlí v elektrárnách je společně se sazemí i popílek. Tento popílek, jakožto tuhá znečišťující látka (TZL), podléhá regulaci z hlediska kvality ovzduší a představuje zdravotní rizika. Z těchto důvodů se na kouřovody elektrárenských kotlů instalují odlučovače popílku. Mezi nejrozšířenější druhy patří elektrostatičké odlučovač. Elektrostatičké odlučovač se vyznačuje příznivým poměrem ceny zařízení a provozu k dosahované odlučivosti, která může dosahovat více než 99 %. Elektrostatičké odlučovače využívají elektrostatičkého pole interagující s částicemi rozptýlenými v plynu. V odlučovači jsou umístěné vysokonapěťové a usazovací elektrody. Mezi nimi je ionizované elektrické pole, kde ionty narážejí do molekul odlučovaných částic, ionizují je a tyto ionizované molekuly jsou přitahovány k usazovacím elektrodám, čímž dochází k odlučování. Mizner [1] definuje odlučování následovně „*Elektrické odlučování v elektrárenském provozu je proces, při kterém jsou tuhé částice popílku odstraněny z nosného kouřového plynu působení elektrických sil*“ [1]. Elektrické odlučovače existují dvojího typu, trubkové a komorové. Vývoj a výzkum v oblasti elektrostatičkého odlučovače je stále aktuální téma, přestože se nejedná o tak dynamicky se rozvíjející odvětví. S příchodem nových materiálů se však i tato oblast dobře rozvíjí a jsou hledána nová řešení a nové oblasti uplatnění odlučovačů v praxi. Jeho použití se např. rozšiřuje do oblasti odlučování mastnoty z gastronomických provozů a hledají se co nejpríznivější uspořádání soustav elektrod i jejich samotného tvaru.

2 NÁVRH ODLUČOVAČE

V rámci výzkumu a vývoje je tvořen modulární laboratorní elektrostatičké odlučovač nabízející možnost realizace experimentů zaměřených například na testování vlivu konstrukčního uspořádání, použitého materiálu elektrod nebo druhů odlučovaných nečistot na celkovou účinnost odlučovače.

Návrhem odlučovače se podrobněji zabývá J. Böhm [2] od kterého je převzata většina následujících rovnic. Při návrhu odlučovače je nezbytné uvážit účel jeho použití a výslednou požadovanou odlučivost čištění spalin. Odlučivost O (%) vyjadřuje kvalitu vyčištění plynu jako podíl mezi zachyceným množstvím prachu a množstvím přivedeným do odlučovače. Deutschův vztah pro komorový odlučovač dle [3] vyjadřuje odlučivost pomocí aktivní délky odlučovače L (m), střední odlučovací rychlosti w ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), vzdáleností vysokonapěťové a ionizační elektrody R (m) a rychlosti proudění plynu odlučovačem v ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

$$O = 1 - e^{-\frac{L \cdot w}{R \cdot v}} \quad (1)$$

Rovnici pro odlučivost lze zapsat i pomocí měrné usazovací plochy f ($\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$) což je podíl průmětu plochy usazovací elektrody ve směru kolmém na směr proudění S (m^2) k průtočnému objemu plynu Q ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) a střední odlučovací rychlosti w ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

$$O = 1 - e^{-f\cdot w} \quad (2)$$

Určení střední odlučovací rychlosti w závisí na mnoha neznámých proměnných, a proto bude odhadnuta na $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ což je nejčastěji uváděná rychlost odlučování Böhmem i [2]Štorchem [3].

K hlavním parametrům elektrostatických odlučovačů patří rozsah jejich provozního napětí. To je ohraničeno počátečním kritickým napětím, kdy se začínají ionizovat částice v prostoru elektrod a přeskokové napětí, kdy žádoucí korónový výboj přechází v přeskok a odlučovač přestává být funkčním. Pro určení počátečního napětí je nutné znát počáteční intenzitu elektrického pole E_{0k} [$\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$], činitel geometrického uspořádání soustav elektrod F a poloměr ionizační elektrody r . Pro výpočet počáteční intenzity elektrického pole E_{0k} jsou dále zapotřebí koeficienty $k_1 = 31,02\cdot 10^5$ a $k_2 = 3,08\cdot 10^{-2}$, dále relativní hustota ϑ a poloměr ionizační elektrody r .

$$E_{0k} = k_1 \cdot \vartheta \cdot \left(1 + \frac{k_2}{\sqrt{\vartheta \cdot r}}\right) \quad (3)$$

činitel geometrického uspořádání soustav elektrod F je pro komorový odlučovač zjednodušeně uváděn jako $\ln(4R/3r)$.

Počáteční napětí U_{0k} se pak vypočítá jako:

$$U_{0k} = r \cdot F \cdot E_{0k} \quad (4)$$

Rovnice pro přeskokové napětí U_{pr} omezující provozní napětí shora je následující:

$$U_{pr} = k_1 \cdot F \cdot \left[(0,1 \cdot \vartheta \cdot R) + k_2 \cdot \sqrt{(0,1 \cdot \vartheta \cdot R)}\right] \quad (5)$$

Přeskokové napětí v této konfiguraci nabývá hodnoty 107,81 kV. Tato hodnota není reálná, jelikož by při provozu překročila elektrickou pevnost plynu. Proto bude přeskokové napětí U_p určeno experimentálně. Jednotlivé parametry odlučovače se vzájemně ovlivňují, např. změnou poloměru r dojde jak ke změně odlučivosti, tak i provozního napětí. Z tohoto důvodu je třeba jednotlivé hodnoty volit tak, aby se došlo k optimálnímu výsledku. Proto je každé provedení odlučovače vysoce individuální a návrh se připravuje na každou konkrétní aplikaci samostatně.

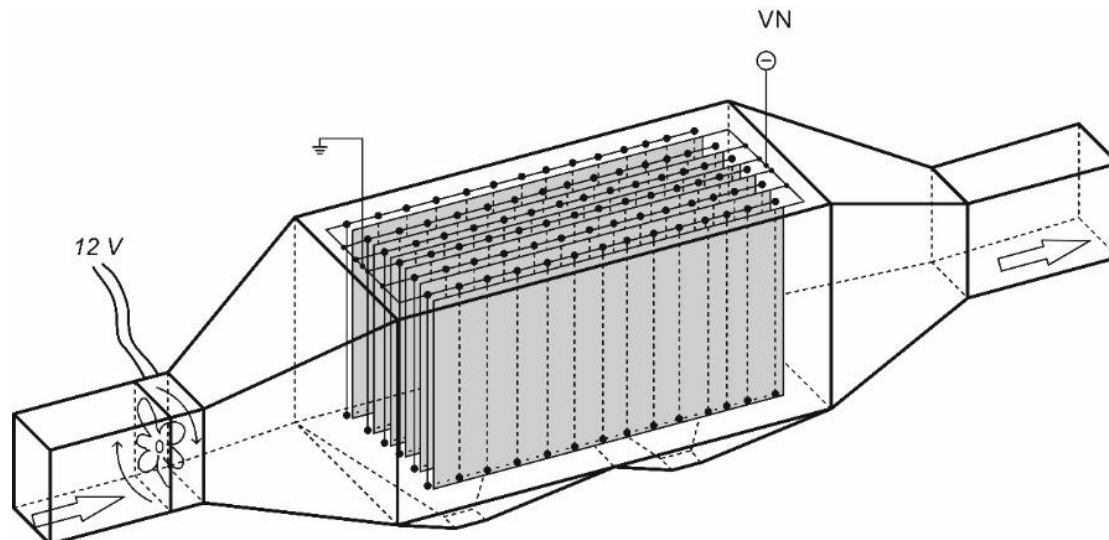
3 PROVEDENÍ A NAVRŽENÉ PARAMETRY

Z předchozích rovnic byly stanoveny základní parametry odlučovače, viz Tabulka 1.

aktivní délka odlučovače L	0,35 m
výška H	0,3 m
šířka jedné sekce	0,06 m
vzdálenost vysokonapěťové a ionizační elektrody R	0,03 m
počet sekcí (paralelně)	3
střední odlučovací rychlosti w	$0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
rychlost proudění plynu odlučovačem v	$0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
průtočné množství plynu Q_v	$0,027 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
celková odlučivost O	90 %
poloměr ionizační elektrody r	$0,2\cdot 10^{-3} \text{ m}$
počáteční kritické napětí U	14,39 kV

Tabulka 1: Parametry modulárního elektrostatického odlučovače

Hlavní konstrukce odlučovače je navržena z PVC dílů. Odlučovací komora je konstruována pro výměnný systém elektrod, pro snazší výměnu různých druhů a tvarů jednotlivých elektrod. Návrh a bližší parametrizace napájecího zdroje není předmětem toho příspěvku. Pro realizaci experimentů bude využito napájecího zdroje, který je stávajícím technickým vybavením VTPPL. Vizualizace návrhu modulárního elektrostatického odlučovače pro laboratorní použití je naznačena na obrázku 1.



Obrázek 1: Návrh provedení elektrostatického odlučovače

Průtok plynu celým modelem je zajišťován asynchronním ventilátorem s nominálním průtokem $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Ke zrovnoměnění proudění plynu v oblasti před vstupem do odlučovacích komor je předpokládán nátrubek opatřený usměrňovací mříží, která rozdělí proud plynu v rozšiřující se části a dojde tak k rovnoměrnému zatížení komor odlučovače prachovými částicemi. Celková délka odlučovače v podélném směru je přibližně 1 m.

4 ZÁVĚR

Funkční vzorek elektrostatického odlučovače disponuje modulárním provedením. Systém elektrod je proveden jako výměnný, čímž je dosaženo maximální flexibility zařízení pro různé aplikace. Prostřednictvím experimentů nyní dojde k ověření funkčnosti vyvinutého odlučovače a k případné optimalizaci původního návrhu. Vyhodnotit experimenty lze vizuálně, kdy je vidět zda odlučovač opouští čistý, či znečištěný plyn. Tímto způsobem lze ověřit funkčnost zařízení, ale ne konkrétní hodnotu odlučivosti. Ta se dá určit vážením a porovnáním množství odloučených prachových částic a částic vyfukovaných a zachycovaných na konci odlučovače. Výsledky experimentů jsou předmětem související bakalářské práce nebo budou předmětem přímo ústní obhajoby tohoto příspěvku. Další oblast vývoje modulárního odlučovače může být v budoucnu směřována na problematiku elektrodového modulu se skrápěním a vodním hospodářstvím, tj. mokré varianty odlučovače.

REFERENCE

- [1] MIZNER, Martin. *Ověření elektrické pevnosti izolátoru elektrostatického odlučovače*. Praha, 2016. Diplomová práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Vedoucí práce Radek Procházka.
- [2] BŮHM, Jaroslav. *Elektrické odlučovače*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977. Ochrana životního prostředí.
- [3] ŠTORCH, Otakar. *Čištění průmyslových plynů a exhalací odlučovači*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1974. Ochrana životního prostředí.